

1	EINLEITUNG	1
1.1	Stand der Forschung hinsichtlich der Modellierung des Materialverhaltens von TPE	2
1.2	Abgeleitete Forschungsfragen und Zielsetzung	3
2	AUFBAU, VERARBEITUNG UND MECHANISCHES VERHALTEN DER THERMOPLASTISCHEN ELASTOMERE	6
2.1	Aufbau der Werkstoffgruppe „Thermoplastische Elastomere“	6
2.2	Mechanisches Werkstoffverhalten bei quasi-statischer Beanspruchung	10
2.2.1	Thermoplaste	10
2.2.2	Elastomere	11
2.2.3	Thermoplastische Elastomere	13
2.2.4	Grundbeanspruchungszustände	15
2.3	Verarbeitung von thermoplastischen Elastomeren und Morphologieausbildung	17
2.4	Einfluss der Verarbeitungsbedingungen auf die Morphologie sowie das resultierende mechanische Verhalten	19
3	MODELLIERUNG DES MECHANISCHEN WERKSTOFFVERHALTENS VON ELASTOMERWERKSTOFFEN	23
3.1	Allgemeine Materialgleichung	23
3.2	Hyperelastische Materialmodelle auf Basis der Formänderungsenergiedichte	24
3.2.1	Phänomenologische Materialmodelle	25
3.2.2	Molekular-statistische Materialmodelle	28
3.3	Modellierungsansätze zur Beschreibung der Spannungserweichung	32
3.3.1	Schädigungsmechanik	32
3.3.2	Theorie der Pseudoelastizität	33
3.3.3	Weitere Materialmodelle	34
3.4	Modellierungsansätze zur Beschreibung der Restverformung	35
3.4.1	Erweiterung des pseudoelastischen Modells nach <i>Ogden und Roxburgh</i>	36
3.4.2	Multiplikative Zerlegung des Deformationstensors	37
3.5	Nachweis der Anwendbarkeit der Materialmodelle auf klassische Elastomere	38
3.6	Beschreibungsansätze zur Berücksichtigung des Beanspruchungszustandes	40
4	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUM VISKO-ELASTO-PLASTISCHEN WERKSTOFFVERHALTEN VON THERMOPLASTISCHEN ELASTOMEREN	46
4.1	Untersuchte TPE-Werkstoffe und Herstellung von Plattenbauteilen	46
4.2	Voruntersuchungen an den ausgewählten TPE-Werkstoffen	48
4.2.1	Durchführung von uniaxialen Zugversuchen	48
4.2.2	Einfluss der Entnahmeposition auf das Spannungs/Streckungs-Verhalten	50
4.2.3	Bewertung des mechanischen Werkstoffverhaltens	51
4.3	Hauptuntersuchungen zum visko-elasto-plastische Materialverhalten	56
4.3.1	Herstellung und Durchführung der mechanischen Werkstoffprüfungen	56
4.3.2	Bewertung der Einflussgrößen auf das visko-elasto-plastische Materialverhalten	60

4.4	Zwischenfazit	68
5	MODELLIERUNG DES VISKO-ELASTO-PLASTISCHEN WERKSTOFFVERHALTENS IN ABHÄNGIGKEIT DER TEMPERATUR UND DES BEANSPRUCHUNGSZUSTANDES	70
5.1	Identifizierung geeigneter Materialmodelle zur Beschreibung des visko-elasto-plastischen Werkstoffverhaltens von TPE	70
5.1.1	Nichtlineares Materialverhalten	71
5.1.1.1	Bestehende hyperelastische Materialmodelle	71
5.1.1.2	Erweiterung des Rivlin-Polynoms	75
5.1.2	Spannungserweichung	80
5.1.3	Restverformung	85
5.2	Anwendung der Materialmodelle auf das TPV 50A	91
5.3	Erweiterung der ausgewählten Materialmodelle zur Berücksichtigung der Temperatur und des Beanspruchungszustandes	93
5.4	Zwischenfazit	98
6	IMPLEMENTIERUNG UND VERIFIKATION DER ENTWICKELTEN MATERIALBESCHREIBUNG IM FE-PROGRAMM ABAQUS	100
6.1	Implementierung der modifizierten Materialmodelle	100
6.1.1	Hyperelastisches Materialmodell	102
6.1.2	Spannungserweichung	105
6.1.3	Restverformung	107
6.2	Simulative Ermittlung des Beanspruchungszustandes	107
6.3	Verifikation der Subroutinen anhand eines Einheitswürfels	109
6.3.1	Erweitertes Neo-Hooke (UHYPER)	111
6.3.2	Gesamte Materialbeschreibung	113
7	VALIDIERUNG DER ENTWICKELTEN MATERIALBESCHREIBUNG ANHAND EINES PRAXISBAUTEILS	119
7.1	Vorstellung und Herstellung des Praxisbauteils	119
7.2	Durchführung und Auswertung der mechanischen Untersuchungen	120
7.2.1	Durchführung der Zugversuche am Dichtring	121
7.2.2	Auswertung der Zugversuche am Dichtring	122
7.3	Aufbau und Analyse des Simulationsmodells	123
7.3.1	Beanspruchungszustandsanalyse	124
7.3.2	Ermittlung der maximalen Streckung	127
7.3.3	Notwendige Anpassungen an der Materialbeschreibung	129
7.4	Validierung der Materialbeschreibung mit lokal variierenden Beanspruchungszustand	130
7.5	Validierung der Materialbeschreibung mit festem Beanspruchungszustand	136
8	FAZIT UND AUSBLICK	140
9	ZUSAMMENFASSUNG / SUMMARY	145
9.1	Zusammenfassung	145

9.2	Summary	146
10	ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZES.....	147
10.1	Abkürzungen	147
10.2	Formelzeichen.....	148
10.2.1	Skalare Größen	148
10.2.2	Tensoren, Matrizen und Vektoren	150
10.2.3	Operatoren	151
10.3	Indizes.....	151
11	LITERATUR.....	153
12	ANHANG.....	166
12.1	Grundlagen der Kontinuumsmechanik.....	166
12.2	Verwendete Prozessparameter zur Herstellung der Plattenbauteile im Spritzgießen	170
12.3	Einfluss der Entnahmeposition auf das Spannungs/Streckungsverhalten	171
12.4	Einfluss des Beanspruchungszustandes auf die Restverformung	172
12.5	Aufsummierte Fehlerquadrate der unterschiedlichen Materialmodelle	173
12.5.1	Hyperelastische Materialmodelle	173
12.5.2	Spannungserweichung	175
12.6	Materialparameter der kalibrierten Materialmodelle in Abhängigkeit der Temperatur und des Beanspruchungszustandes	176
12.6.1	Hyperelastische Materialmodelle	176
12.6.2	Theorie der Pseudoelastizität (Spannungserweichung)	179
12.6.2.1	erweitertes Neo-Hooke	179
12.6.2.2	erweitertes Mooney-Rivlin	181
12.6.3	Verfestigungsfunktion (Restverformung).....	183
12.7	Ergänzende Informationen zur Anwendung der identifizierten Materialmodelle auf das TPV 50A	184
12.8	Parameter der zweidimensionalen Funktion	185
12.9	Verwendete Prozessparameter zur Herstellung des Praxisbauteils.....	187